مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال پانزدهم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، شمارهٔ پیاپی ۲۹

DOI: 10.22067/geography.v15i2.36014

نقش تحلیل فضایی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در برنامه‌ریزی شهری مطالعهٔ موردی: دامنه‌های شمال غرب کلان‌شهر تهران

علی شماعی (دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، نویسندهٔ مسئول)
shamai@khu.ac.ir
امیر کرم (دانشیار ژئومورفولوژی،دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی،تهران،ایران)
aa_karam@yahoo.com
نازیلا یعقوب‌نژاد اصل (دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولوژیک، دانشگاه محقق اردبیلی،اردبیل،ایران)
nazila.yaghoob.nejad@gmail.com
شهرام لطفی‌مقدم (کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی،تهران،ایران)
lotfimoghadam_sh@yahoo.com

صص ۱۴۸ ـ ۱۱۹

چکیده

اهداف: در این پژوهش، به تحلیل فضایی پهنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمال غرب کلان‌شهر تهران با هدف برنامه‌ریزی‌های مناسب توسعهٔ کالبدی – فضایی شهر و کاهش مخاطرات محیطی و پایداری فضاهای شهری پرداخته شده است.

روش: متغیرها و شاخص‌های موردمطالعه عبارت‌اند از: شیب، فاصله از گسل، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری زمین، فاصله از رودخانه‌ها، میزان بارش، ارتفاع، جهت دامنه‌ها و فاصله از راه‌های ارتباطی است. روش پژوهش توصیفی، تحلیلی با بهره‌گیری از مدل فازی در جی‌آی‌اس است.

یافته ها/ نتایج: یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در مناطق شمال غرب تهران، حدود ۱۴/۴۷درصد از مساحت محدودهٔ موردمطالعه با درجهٔ زیاد و بسیار زیاد و حدود ۱۲/۳۸ درصد از مساحت محدودهٔ موردمطالعه در پهنهٔ با خطر متوسط است. بقیهٔ این منطقه که شامل حدود ۷۳/۱۶ درصد می‌شود، پهنهٔ با خطر کم و بسیار کم است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷

نتیجه‌گیری: تحلیل فضایی از پهنه‌های خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که عوامل توپوگرافی و هیدرولوژی نقش مهمی در زمین لغزش دامنه ها دارند. همچنین، نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که به‌دلیل شرایط توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و زمین‌شناسی، بارش‌های سیل‌آسا و رعایت‌نشدن فاصله از حریم شبکه‌های زه‌کشی، ازجمله رودردره‌ها و کاربری‌های نامناسب به‌ویژه برج‌سازی درشیب‌های تند، خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها زیاد شده است. جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به‌ویژه تبدیل باغات و مراتع به برج‌سازی و پایدارسازی دامنه‌ها، با هدف پیشگیری از مخاطرات محیطی بسیار ضروری است.
کلیدواژه‌ها: تحلیل فضایی، پهنه های آسیب‌پذیر، زمین‌لغزش، پایداری، کلان‌شهر تهران.

۱. مقدمه

یکی از موضوع‌های بنیادی و مهم جغرافیای شهری، بررسی و تحلیل فضایی موقع و مکان استقرار شهر ازلحاظ پایداری و ناپایداری است. بستری که شهر در اشکال و ابعاد مختلف و با عملکردهای متفاوت بر پهنهٔ آن استقرار یافته است، بسیار تأثیرپذیر از محیط طبیعی آن است. مؤلفه‌های محیط طبیعی شامل ناهمواری‌ها، ساختمان زمین، زلزله‌خیزی، آب‌وهوا، منابع آب، خاک و پوشش گیاهی به‌عنوان بستر شهر، به‌صورت مجموعه‌ای آمیخته و مرتبط با هم زیر بنای توسعه شهر و در پایداری شهر و به‌ویژه چگونگی برنامه‌ریزی‌های سامان‌دهی شهری نقش بسزایی دارند (شماعی و پوراحمد ، ۱۳۹۱، ص. ۸). یکی از نقش ها و کاربردهای جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و چگونگی توسعه شهری و کنترل مخاطرات محیطی شناسایی دقیق پهنه‌های زمین‌ساختی ازلحاظ زمین‌لغزش است. امروزه، در برنامه‌ریزی‌های توسعهٔ شهری ازجمله طرح‌های جامع و تفصیلی مطالعات جغرافیای طبیعی، همچون شناسایی پهنه‌های خطر زمین‌لغزش به منظور پیشگیری از وقوع حوادث ناگوار لغزش از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. باوجود رخداد چندین زمین‌لغزش در شمال غرب تهران، مطالعهٔ جامع و دقیقی درزمینهٔ شناسایی و پهنه‌بندی نواحی مستعد زمین‌لغزش انجام نشده است. نقش مطالعات مخاطرات محیطی و پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش به‌ویژه طی سه دههٔ اخیر بسیار موردتوجه واقع شده است؛ اما، تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای مناطق شمال

غرب کلان‌شهر تهران به‌صورت مجزا و به‌روز مشخص نشده است. پهنه‌بندی مخاطرات محیطی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند مناطق و نواحی بحرانی را تعیین کند و در برنامه‌ریزی‌های مختلف شهری تمهیدات لازم برای پیشگیری از وقوع حوادث ناگوار برای این مناطق اندیشیده شود.

تخریب پوشش گیاهی و منابع طبیعی و پدیده زمین خواری، گسترش شهر بر روی دامنه های پر شیب را به دنبال آورده و احتمال زمین‌لغزش در نواحی پیرامون شهری را تشدید کرده که اگر به‌خوبی شناسایی و مدیریت نشود، خسارات جانی و مالی فراوانی به‌همراه دارد. امروزه، گسترش ساختمان های چندین طبقه بر روی دامنه‌های کوهستانی و دره ها و آبراهه ها با شیب زیاد ناپایداری فضاهای شهری را به دنبال آورده است. ساخت‌وسازها در دامنه‌های پرشیب کوهپایه‌ای به‌ویژه برج‌های مرتفع مسکونی و تجاری، یکی از آثار انسان در تشدید زمین‌لغزش و مخاطرات ناشی از آن است. این فرایند ناپایدار روبه‌رشد و گسترش فضاهای شهری در دامنه‌ها، علاوه‌برتخریب چشم‌اندازهای طبیعی، موجب افزایش وقوع حرکات توده‌ای، زمین‌لغزش و به‌تبع آن خسارت‌های ناشی از آن خواهد شد. اگر درگذشته زمین‌لغزش‌ها، تخریب جاده‌ها و منازل مسکونی کم بود و خسارت‌های جزئی به‌همراه داشتند، امروزه با دخل‌وتصرف زیاد انسان در طبیعت مخاطرات محیطی بیشتر و خسارات جانی و مالی گسترده‌تر شده است. بی‌توجهی و فقدان برنامه‌ریزی دراین‌زمینه سبب شده است تا در آینده به ابعاد آن افزوده گردد. طبق تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌لغزش عبارت است از جابه‌جایی به‌سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب (نصیری، ۱۳۸۳، ص. ۳). این حرکت شامل تغییر شکل برشی و جابه‌جایی در امتداد یک یا چند سطح است. درصورت وقوع، زمین‌لغزش باعث اتلاف مقادیر زیادی از خاک می‌شود و در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور خسارات هنگفتی را به مناطق مسکونی، جاده‌ها و ترانشه‌ها وارد می‌آورد و باعث تخریب اراضی کشاورزی، مسکونی، جنگل‌ها و غیره می‌شود.

در ایران، به‌دلیل مکان‌گزینی اغلب شهرها در نواحی کوهستانی و کوهپایه‌ای فلات ایران و ویژگی‌های توپوگرافیکی، سازندهای زمین‌شناسی و فرایندهای ژئومورفولوژیک محیط‌های جغرافیایی ایران، شرایط طبیعی برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش‌ها وجود دارد. هرساله، زمین‌لغزش‌ها موجب واردآمدن خسارت‌های سنگین و جبران‌ناپذیر مالی و جانی در ایران

شده‌اند. آمار ثبت‌شده توسط وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۲۵۹۰ حرکت توده‌ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱٦۲ نفر، تخریب ۱۷٦ خانه، ایجاد خسارت مالی به میزان ۱۸٦٦ میلیارد ریال، تخریب ٦۷٦ هکتار جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است (صالحی‌پور، ۱۳۸۰، ص. ٤)؛ برای مثال می‌توان به زمین‌لغزش جادهٔ فشم- میگون در اسفند سال ۱۳۸٤ اشاره کرد (هادی‌مصلح و خان‌لری، ۱۳۸٦، ص. ۳۹۷) که باعث تخریب نواحی مسکونی و راه‌های ارتباطی شد. همچنین، در فروردین سال ۱۳۷۷، روستای آبکار لبد در شبی بارانی در فصل بهار زیرآوار کوه برای همیشه مدفون شد و هرگز کسی ازساکنان مانده در خانه های آن روستا خبردار نشد (http://www.irna.ir/fa/News).

تهران، به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر ایران تقریباً ۱۲ درصد از جمعیت کل کشور را در خود جای داده است. بخشی از این جمعیت در نواحی کوهستانی و کوهپایه ای استقراریافته‌اند؛ بنابراین، اگر در این نواحی فرایندهای دامنه‌ای از نوع زمین‌لغزش روی دهند، علاوه‌بر واردآمدن خسارات جانی و مالی، چه‌بسا که عواقب سیاسی، اجتماعی، زیست‌محیطی و غیره در سطح کشور داشته باشد (صفاری و مقیمی، ۱۳۸۸، ص. ٥٥)؛ بنابراین، باید پیش‌بینی‌های لازم برای پایدارسازی و همچنین، جلوگیری از حوادث و کاهش میزان خسارات طبیعی در آن انجام شود. در دهه‌های اخیر، در کلان‌شهر تهران رشد جمعیت و گسترش بی‌رویهٔ آن و نیز سوءاستفاده از اراضی دامنه‌ای با هدف احداث ساختمان‌ها با سرعت زیادی روی داده‌است؛ با سرعت زیادی روی داده‌اند؛ به‌طوری‌که امروزه در این مناطق ساختمان‌های فراوان مشاهده می‌شود و جمعیت قابل‌توجهی از شهروندان در این مناطق سکونت دارند. در این بخش‌ها، به‌دلیل وجود شیب‌های تند، تغییرات شدید توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی، گسلش، بارندگی و آب‌های سطحی، آب‌وهوای سرد و یخبندان‌های زمستانی، خطر وقوع انواع زمین‌لغزش‌ها بسیار زیاد است. هنگامی‌که دامنهٔ پرشیبی به شکل شطرنجی قطعه‌بندی می‌شود و یک لایهٔ شهر بر روی آن ایجاد می‌گردد، می‌تواند به‌مثابهٔ یک‌لایهٔ سنگی قرارگرفته روی دامنه عمل کند. زمین‌های شیب‌دار نواحی کوهپایه‌ای کلان‌شهر تهران به این شکل ساخته‌شده‌اند و بنابراین، درمعرض حرکات دامنه‌ای ازنوع زمین‌لغزش قرار دارند (صفاری و مقیمی، ۱۳۸۸، ص. ٥٦). باوجود رخداد چندین زمین‌لغزش و جریان واریزه‌ای در مناطق

شمالی شهر تهران، مطالعات اندکی درزمینهٔ شناسایی و پهنه‌بندی نـواحی مسـتعد زمین‌لغـزش انجام شده است. بررسی ویژگی‌های فرایند ژئومورفولوژیک این کلـان شـهر، امکـان بـرآورد توان بالقوهٔ زمین و کنترل سیستم دینامیک پیچیدهٔ محیط طبیعی آن را میسـر می‌کنـد؛ بنـابراین، تحلیل فضایی، پیش‌بینی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها با هدف چگونگی بهـره‌بـرداری صـحیح از اراضی گوناگون و منابع طبیعی موجود، اختصاص واحدهای ژئومورفولوژیک به کـاربری‌هـای مختلف و درنتیجه، برنامه‌ریزی‌های صحیح عمرانی و توسعه در پیوند با دیدگاه‌های اجتمـاعی، اقتصادی، کشاورزی و غیره ضروری است.

تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش به مهندسان ازجمله برنامه‌ریزان شهری، برای انتخـاب مکان مناسب و اجرای طرح‌های توسـعهٔ شـهری کمـک می‌کنـد و نتـایج این‌گونـه مطالعـات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای برای کمک به تصـمیم‌سـازی و تصـمیم‌گیـری برنامـه‌ریـزان شهری و مدیران شهری مورداستفاده قرار گیرد. زمانی اهمیت و ضرورت ایـن قبیـل مطالعـات آشکار می‌شود که با اطلاعات دسته‌بندی‌شده و قابل‌تجزیه‌وتحلیل، خطر زمین‌لغزش در نـواحی مشخص شده باشد و به‌کمک نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در کوتاه‌ترین زمان ممکن تمهیدات لازم برای برنامه‌ریزان و مدیران شهری و ناحیه‌ای فراهم باشد.

۲. پیشینهٔ تحقیق

نقشه‌برداری و منطقه‌بندی خطر، اولین مؤلفـهٔ ارزیـابی خطـر[1] و مـدیریت ریسـک[2] تلقـی می‌شود (بنـت و دوئـل، ۱۳۹۱، ص. ۳۵)[3]. درمجمـوع، می‌تـوان دو مجموعـه از فعالیت‌هـای پهنه‌بندی خطر را مشاهده کرد؛ یک مجموعه از فعالیت‌ها به روش‌های کیفی و تجربی دربـارهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مربوط هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان بـه مـدل نیـل‌سـن[4] در سال ۱۹۷۹ و مدل آنبالاگان[5] در سال ۱۹۹۱ و مدل مورا- وارسون[6] اشاره کرد (کرمـی و بیـاتی خطیبی، ۱۳۸۵، ص. ۲). مجموعهٔ دیگر از کارهای پهنه‌بندی نیز به روش‌هـای آمـاری و کمـی تأکید دارند.

1. Hazard Assessment
2. Risk Management
3. Bennett & Doyle
4. Nilsen
5. Anbalagan
6. Mora & Varson

در کشور ما، پژوهش و کارهای انجام‌شده درزمینهٔ زمین‌لغزش‌ها و حرکات تـوده‌ای بسـیار جوان بوده و شروع جدی آن‌ها عمدتاً به اوایل دههٔ (۱۳۷۰–۸۰) بازمی‌گردد (کرم، ۱۳۸۰، ص. ۲۵). مطالعات وسـیعی درزمینـهٔ شـناخت عوامـل مـؤثر، طبقه‌بنـدی، پهنه‌بنـدی و مدل‌سـازی زمین‌لغزش‌ها انجام شده است (جداول ۱ و ۲):

جدول ۱- مطالعات خارجی درزمینهٔ زمین‌لغزش‌ها

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نام محقق	سال	منطقه	روش کار	نتایج حاصل از پژوهش
کائو[2] و همکاران	۲۰۱٦	چین	روش تحلیل سلسله‌مراتبی[1]	۳٤/۱۱ درصد و ۱۷/۹۲ درصد از مساحت ناحیهٔ موردمطالعه به‌ترتیب، در پهنه‌های با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است.
چنکوآل[4]، لالبیاماو[5]، لالتانپوآ[6]	۲۰۱٦	هند	سنجش از دور و جی.آی. اس.[3]	۹/۸۹ درصد و ۲٤/۳۵ درصد از مساحت ناحیهٔ موردمطالعه به‌ترتیب، در پهنه‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد واقع شده است.
شارما و سانجیوی[7]	۲۰۱۵	هند	سنجش از دور، جی.آی.اس، مشاهدات میدانی	خطر وقوع زمین‌لغزش در بخش‌های شمال شرقی و شمال غربی حوضه با درجهٔ آسیب‌پذیری زیاد تا متوسط مشاهده شد.
چینگخی[8]، شیروی لیما[9]، سینگ[10] و کومار[11]	۲۰۱۳	هند	سنجش از دور، جی.آی.اس.، تحلیل سلسله‌مراتبی، مشاهدات میدانی	٦ پهنهٔ آسیب‌پذیر برای وقوع زمین‌لغزش شناسایی شد.

1. AHP
2. Cao
3. GIS
4. Chenkual
5. Lalbiakmawia
6. Laltanpuia
7. Sharma & Sanjeevi
8. Chingkhei
9. Shiroyleima
10. Singh
11. Kumar

ادامه جدول ۱

نام محقق	سال	منطقه	روش کار	نتایج حاصل از پژوهش
راسلی[1]، تاجول[2] و آنور[3]	۲۰۱۲	مالزی	تحلیل عاملی و آماری	عوامل فیزیکی ازجمله عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش هستند.
گمیتزی[5]، فالالاکیس[6]، اسکیئوگلو[7] و پتالاس[8]	۲۰۱۱	یونان	فازی[4]	زاویهٔ شیب مهم‌ترین عوامل مؤثر دروقوع زمین‌لغزش است.
شریفی[9]، ارومیه‌ای[10] و قریشی[11]	۲۰۱۱	شمال تهران	فازی	۵ طبقه خطر شناسایی شد.
شهابی[12]	۲۰۱۰	جادهٔ اصلی سقز- مریوان	مدل نسبت بسامد، عکس‌های هوایی، بررسی‌های میدانی	نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و شناسایی نواحی با آسیب‌پذیری زیاد تهیه شد.
لی[13]	۲۰۰۷	کره	مشاهدات میدانی، مدل فازی	عملگر گامای ۰/۹ بهترین عملگر برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است.
گور سوسکی[16]، جانکوسکی[17] و گسلر[18]	۲۰۰۵	ایالت مونتانا	داده‌های زمین‌لغزش، مدل فازی-کی مینز[14]، نظریهٔ دمپستر شفر[15]	با استفاده از داده‌های زمین‌لغزش، مدل فازی-کامینز و نظریهٔ دمستر شافر دقت نقشه‌های زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.

1. Roslee
2. Tajul
3. Anuar
4. Fuzzy
5. Gemitzi
6. Falalakis
7. Eskioglou
8. Petalas
9. Sharifi
10. Uromeihy
11. Ghorashi
12. Shahabi
13. Lee
14. Fuzzy- Kmeans
15. Dempster-Shafer Theory
16. Gorsevski
17. Jankowski
18. Gessler

جدول ۲- مطالعات داخلی درزمینهٔ زمین‌لغزش‌ها

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نام محقق	سال	منطقه	روش پژوهش	نتایج حاصل از پژوهش
انتظاری، غلام‌حیدری و آقایی‌پور	۱۳۹٤	حوضهٔ آبریز زرآب	مدل آنتروپی	۵۵ درصد از زمین‌لغزش‌ها در محدودهٔ خطر متوسط، ۳۷ درصد در محدودهٔ پرخطر، و ۸ درصد در محدودهٔ خطر کم رخ داده‌اند.
کامران‌زاد، محصل افشار، مجرب و معماریان	۱۳۹٤	استان تهران	روش‌های داده‌محور، تحلیل سلسله‌مراتبی	در روش داده‌محور، ۹۲/۹ درصد از زمین‌لغزش‌ها در محدودهٔ خطرناک قرار گرفته‌اند و در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ۹٦/۵ درصد در پهنهٔ خطرناک واقع شده‌اند.
عابدینی و فتحی	۱۳۹۳	حوضهٔ آبخیز خلخال چای	تلفیق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی	۲۱/۸۲ درصد از مساحت ناحیهٔ موردمطالعه در زمرهٔ مناطق با لغزش زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است.
جلالی	۱۳۹۲	شمال غرب تهران	شناسایی عوامل ژئومورفولوژیک بحران‌زای سیل و زمین‌لغزش	نقشهٔ پهنه‌بندی از سیل و زمین‌لغزش تهیه شد.
مددی، نوعی و اسمعلی	۱۳۹۲	حوضهٔ آبخیز گیوی چای- اردبیل	روش شاخص زمین‌لغزش[1]	عوامل اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی بیشترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش را دارند
قنواتی	۱۳۹۰	حوضهٔ جاجرود	روش تحلیل سلسله‌مراتبی	بیش از ٦۲ درصد از مساحت حوضهٔ جاجرود در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد لغزش قرار گرفته است
رهنماراد، یادگارزایی و کنگی	۱۳۸۹	اسکل‌آباد خاش	روش‌های آماری دومتغیره، جی.آی.اس.	صحت دقت بالا روش آماری دومتغیره در پیش‌بینی خطر رانش زمین تأیید می‌شود.
متکان، سمیعا، پورعلی و صفایی	۱۳۸۸	حوضهٔ آبخیز لاجیم	مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور	عامل کاربری ارضی مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش است.
گزارش گروه فرسایش توده‌ای و تثبیت زمین‌لغزش	۱۳۸٦	استان تهران	*	نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های استان تهران تهیه و ارائه گردید.

1. Landslide Index Method (LIM)

ادامه جدول ۲

نام محقق	سال	منطقه	روش پژوهش	نتایج حاصل از پژوهش
شریفی	۱۳۸۳	بخشی از حوضهٔ آبخیز سمنان	روش نیل‌سون و روش نیل‌سون اصلاح‌شده	دقت بالای روش نیل‌سون اصلاح‌شده تأیید می شود.
فتاحی اردکانی، غیومیان و جلالی	۱۳۸۲	حوضهٔ آبخیز سد لتیان	ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش	تغییر کاربری زمین و احداث جاده‌های دسترسی روستایی بر روی دامنه‌های پرشیب، در سال‌های اخیر باعث وقوع چندین لغزش شده‌اند

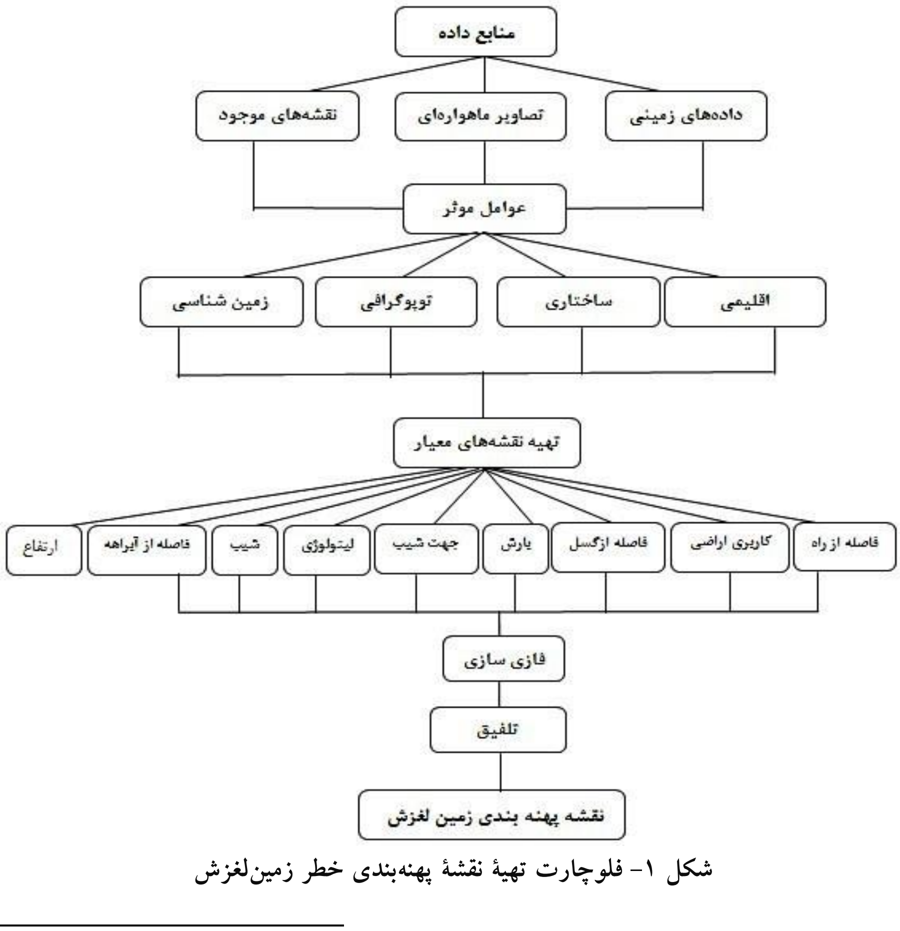
سؤال اصلی در این پژوهش، تبیین توزیع فضایی پهنه‌های مستعد وقوع زمین‌لغزش در مناطق شمال غرب تهران است. دراین‌راستا، هدف این پژوهش بررسی و تحلیل رخداد زمین‌لغزش دامنه‌های کوهستانی شمال تهران و پهنه‌بندی نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش است. درواقع، در این پژوهش به بررسی و تحلیل پهنه‌های ناپایداری دامنه‌ها در ناحیهٔ شمال غرب کلان‌شهر تهران (شامل دامنه‌های کن، فرحزاد، درکه و بخشی از ارتفاعات شمال غربی) پرداخته تا در طرح های توسعه شهری به این مسائل توجه داشته باشند. این پهنه‌بندی ازطریق مدل فازی با استفاده از ۹ شاخص کمی و کیفی شامل شیب، فاصله از گسل‌ها، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری زمین، فاصله از رودخانه‌ها، میزان بارش، ارتفاع، جهت دامنه‌ها و فاصله از راه‌های ارتباطی به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع حرکات لغزشی منطقه درقالب سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. روش تحقیق

این پژوهش، کاربردی و از نوع روش‌های اکتشافی – تحلیلی، با بهره‌گیری از اسناد کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی انجام گرفته است. داده‌های اولیه عبارت‌اند از: نقشه‌های ارتفاع، نقشه شیب، جهت دامنه که از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۸۵ متر (اخذشده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۹۱)، استخراج شدند. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ موردمطالعه نیز از سازمان زمین‌شناسی تهران (۱۳۹۱) اخذ شده است. نقشهٔ کاربری زمین از سازمان جنگل‌ها و مراتع (۱۳۹۱) به‌دست‌آمده است. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و

داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک (اخذشده از سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۳)، نقشهٔ میانگین بارش سالانه تهیه شده است. از نرم‌افزار اکسل[۱] ۲۰۰۷ و نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس ۱۰[۲] برای تهیهٔ نقشه یادشده استفاده شده است. در مرحلهٔ بعد، با توجه به بررسی‌های میدانی، ۹ معیار بحران‌زا در رخداد زمین‌لغزش‌های محدودهٔ موردمطالعه شناسایی شدند. این معیارها عبارت‌اند از: ارتفاع، شیب، جهت دامنه، زمین‌شناسی، میانگین بارش سالانه، کاربری زمین، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از گسل‌ها و فاصله از رودخانه‌ها (شکل ۳). درنهایت، از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس ۱۰ برای تحلیل داده‌ها، فازی‌سازی و نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ موردمطالعه استفاده‌شده است. شکل (۱) مراحل تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقهٔ موردمطالعه را نشان می‌دهد:



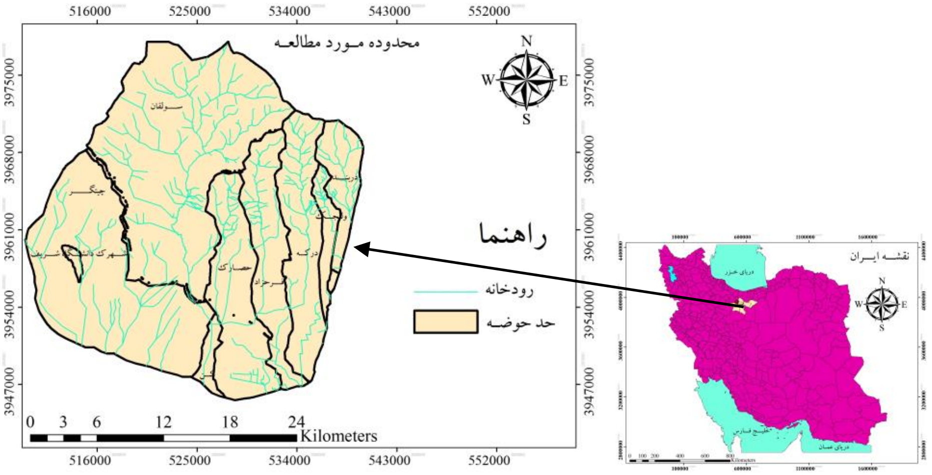
شکل ۱- فلوچارت تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

---

1. Excell
2. ARC GIS

۳. ۲. منطقهٔ موردمطالعه

ناحیهٔ موردبررسی در محدودهٔ ′٤ ° ٥١ تا ′٢٧ °٥١ طول شرقی و ′٣٦ ° ٣٥ تـا ′٥٩ ° ٣٥ عرض شمالی قرار دارد. مساحت این محدوده حدود ٦٧٠ کیلومترمربع است (شکل ۲):



شکل ۲- موقعیت محدودهٔ موردمطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

این محدوده بخشی از دامنه‌های جنوبی ارتفاعات البرز مرکزی در شـمال غـرب کلان‌شـهر تهران را در برمی‌گیرد. این محدوده تحـت‌تـأثیر برخـی از حرکـات کـوه‌زایی و خشـکی‌زایی دوره‌های مختلف زمین‌شناسی شکل گرفته است. پیـدایش حوضـه‌های رسـوبی میـان‌کـوهی، انباشت رسوبات آذرآواری، گسلش و چین‌خوردگی، فعالیت ماگماتیسم و آتش‌فشانی، حاصل عملکرد حرکات ذکرشده است. بلندترین نقطه در منطقهٔ موردمطالعه ٣٨٤٠ متـر و پسـت‌ترین نقطه ١١٦٦ متر است. خط کنیک یا تغییر شیب از ارتفاع ١٤٠٠ متر آغـاز می‌شـود. ایـن خـط، خطی است که شیب حوضه تغییر می‌کنـد. گسـل‌های محـدودهٔ موردمطالعـه در خـط کنیـک واقع‌شده‌اند. این منطقه مشتمل بر ٤ زیرحوضهٔ کوهستانی شمال غرب کلان‌شهر تهـران شـامل زیرحوضه‌های رودخانه‌های کن، فرحزاد، چیتگر و درکه است. ازلحاظ توپوگرافی، این حوضه را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد: بخش دشتی حوضه کـه در طیـف ارتفـاعی ١١٦٦ متـر تـا ١٣٠٠ متر قرارگرفته است؛ بخش کوهپایه‌ای حوضه که در طیف ارتفاعی ١٦٠٠ متـر تـا ١٨٠٠ متر قرار دارد و بخش کوهستانی حوضه که از ارتفـاع ١٨٠٠ متـر آغـاز می‌شـود و بـه ارتفـاع

۳۸٤۰ متری حوضه ختم می‌شود. رودخانــه‌های کــن، فرحــزاد، چیتگــر و درکــه از ارتفاعــات کوهستانی حوضه سرچشمه گرفته‌اند. نقطهٔ خروجی ایــن رودخانــه‌ها جنــوب غربــی حوضــه است که مناطق دشتی حوضه را در برمی‌گیرد. حوضهٔ شمال غــرب کلان‌شــهر تهــران بــر روی رسوبات اخیر و کواترنر توسعه یافته است. نقشه‌های زمین‌شناسی تأییدکنندهٔ این نکتــه هســتند که آبرفت‌های پلیوسن و کواترنری و نهشته‌های یخ‌رفتی در دشــت تهــران گســترش یافته‌انــد. به‌طورکلی، در بخش دشتی حوضه، رسوبات از نوع مخروط‌افکنــه‌ها و پادگانــه‌های آبرفتــی از جنس شن، ریگ، قلوه‌سنگ، رس، قطعات کنگلومرایی، رسوبات دانه‌ریز ســیلت هســتند و در مناطق مرتفع و کوهستانی، تناوب توف‌های سبزرنگ و شیل، جریان‌هــای گــدازه‌ای، دایک‌هــا، سنگ‌های تراکیت، آندزیت، داسیت، مورن‌ها و رسوبات یخچالی تشکیل شده‌اند.

٤. مبانی نظری تحقیق

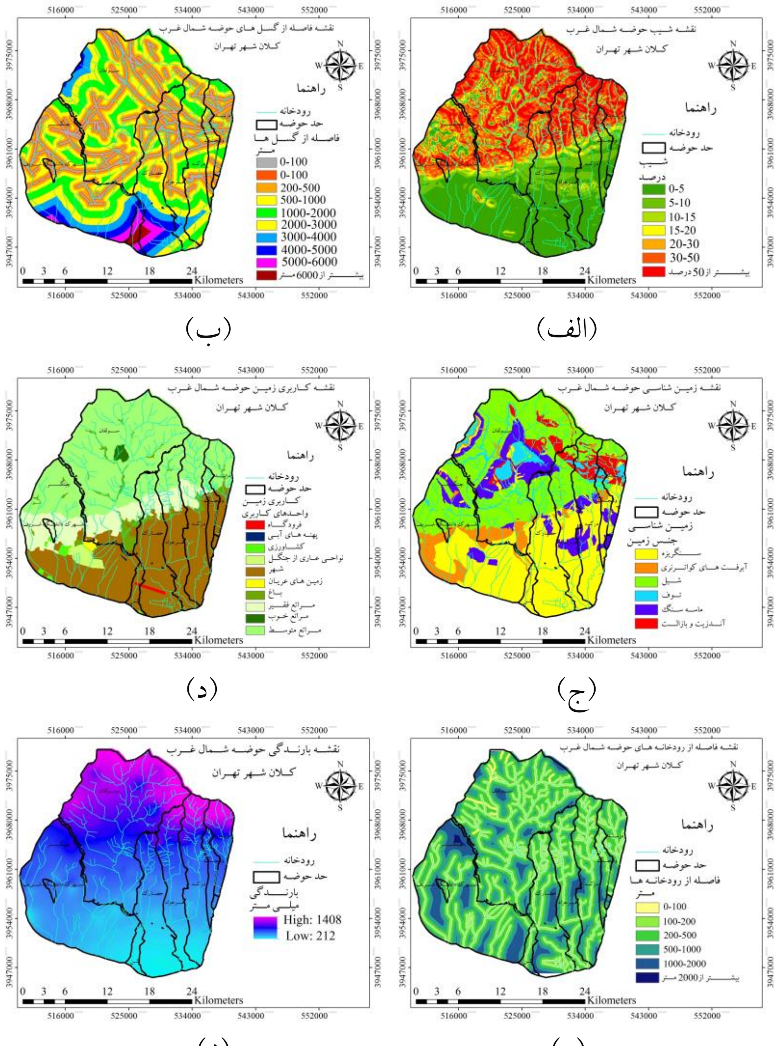
اندیشمندان علوم زمین و مهندسان، همواره با درنظرگــرفتن عوامــل و شــرایط توپــوگرافی، زمین‌شناسی، اقلیم، هیدرولوژی و کاربری زمین معیارهایی را برای تعیین مناسب یــا نامناســب بودن فضاهای ساخت‌وساز شهری تعیین می‌کنند. هر معیاری می‌تواند با داده‌های جغرافیــایی و نقشه‌های موضوعی[1] نشان داده شود و برای برنامــه‌ریزی و نقشــه‌برداری اقــدام بــه مدل‌ســازی شود. مدل فازی یکــی از ایــن مدل‌هاســت. نخســتین بــار، منطــق فــازی درپــی تنظــیم نظریــهٔ مجموعه‌های فازی توســط لطفــی‌زاده (۱۹٦۵ میلــادی) در صــحنهٔ محاســبات نــو ظــاهر شــد (لطفی‌زاده، ۱۹٦۵، ص. ۳۳۹). واژهٔ «فازی»[2] به معنای غیردقیق، ناواضح و مبهم (شناور) است. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مــبهم هســتند، صورت‌بندی ریاضی کند و زمینــه را بــرای اســتدلال، کنتــرل و تصــمیم‌گیری در شــرایط نبــود اطمینان فراهم آورد (فرهودی، حبیبی و زندی بختیاری، ۱۳۸٤، ص. ۲۰). منطق فازی می‌تواند درزمینهٔ تحلیــل ســایت‌ها و مکان‌هــا مورداســتفاده قــرار گیــرد. فــن کــار به‌صــورت تلفیــق و هم‌پوشانی داده‌های رستری است. مکانیسم عمل به این‌گونه است که ابتدا پارامترهای مــؤثر در زمین‌لغزش شناسایی می‌شوند، سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی‌سازی می‌شوند و درنهایت، با استفاده از شبکهٔ استنتاج فازی با هم ترکیب می‌شوند. شبکهٔ استنتاج فازی براساس

1. Thematic map
2. fuzzy

عملگرهای منطق فازی این کار را انجام می‌دهد. بعدازآنکه خروجی هریک از عملگرها به‌دست آمد، آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنند و براساس اعداد به‌دست‌آمده نتیجه‌گیری و جمع‌بندی می‌کنند.

۵. یافته‌های تحقیق

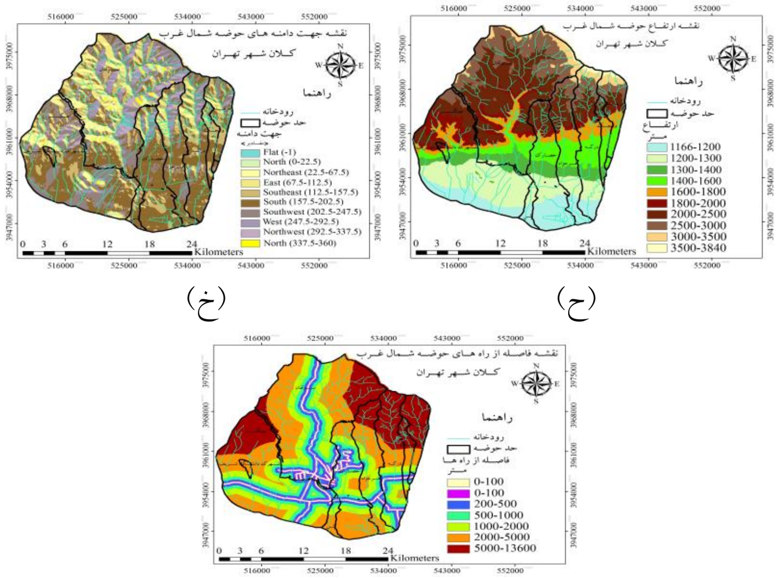
ابتدا، لایه‌های اطلاعاتی این نقشه‌ها تهیه شدند (شکل ۳)، سپس، با استفاده از توابع عضویت فازی (شکل ٤) فازی‌سازی معیارها انجام شد (شکل ٥):



(الف) (ب)

(ج) (د)

(و) (ز)

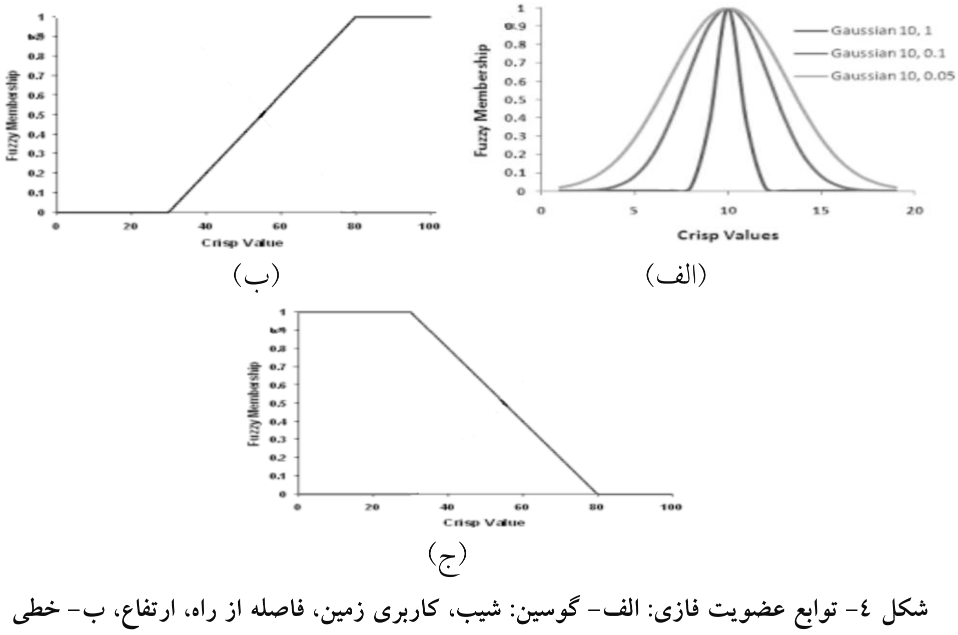


(خ) (ح)

(ر)

شکل ۳- نقشه‌های معیارها: الف- شیب، ب- فاصله از گسل، ج- زمین‌شناسی، د- کاربری زمین، و- فاصله از رودخانه، ز- بارندگی، ح- ارتفاع، خ- جهت دامنه، ر- فاصله از راه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



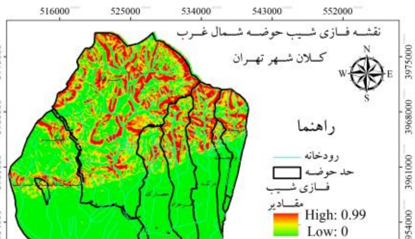
(ب) (الف)

(ج)

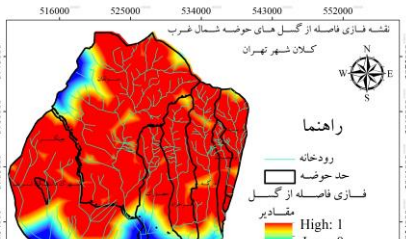
شکل ٤- توابع عضویت فازی: الف- گوسین: شیب، کاربری زمین، فاصله از راه، ارتفاع، ب- خطی افزاینده: جهت دامنه، ج- خطی کاهنده: فاصله از گسل، زمین‌شناسی، بارندگی، فاصله از رودخانه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

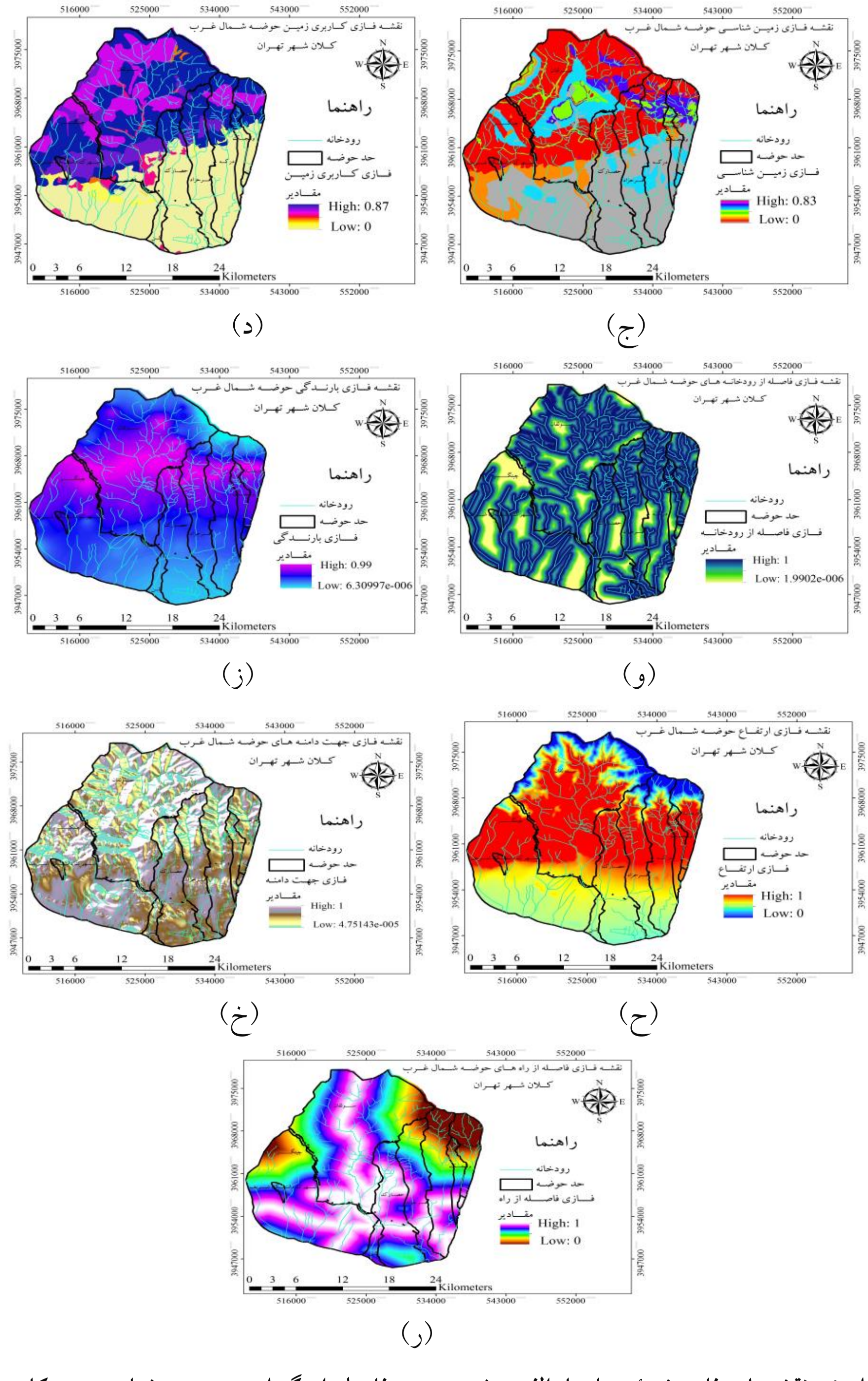
ابتدا، تک‌تک معیارها با توجه به حساسیت آن‌ها به زمین‌لغزش، کدگذاری و بازطبقه‌بندی شدند. کدگذاری براساس کمترین میزان حساسیت انجام شد؛ برای مثال، عدد ۱ تا بیشترین حساسیت مثلاً عدد ۹ است. سپس، توابع عضویت فازی برای آن‌ها تعریف شد. نحوهٔ تعریف توابع عضویت بدین‌صورت است که برای مثال، برای تابع شیب، در شیب‌های ۰ تا ۱۰ درصد زمین‌لغزش اتفاق نمی‌افتد (کد صفر)؛ اما به‌تدریج از شیب ۱۰ درصد تا ۵۰ درصد که زمین‌لغزش رخ می‌دهد، رو به سمت بالا میل می‌کند (کد ۱). برای شیب‌های بیشتر از ۳۰ درصد که زمین لغزش رخ نمی‌دهد، مجدد به سمت صفر میل می‌کند؛ درنتیجه، تابع عضویت برای این معیار، گوسین می‌شود. برای معیار جهت دامنه، اغلب زمین‌لغزش‌ها در جهات جنوبی شیب دامنه‌ها (جنوب، جنوب غربی و جنوب شرق) رخ داده‌اند؛ درنتیجه، این جهات از ۱ تا ۹ کدگذاری شده‌اند. از کد ۱ تا ۹ که منطبق بر جهات جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی هستند، رو به سمت بالا (کد ۱) میل می‌کند؛ بنابراین، تابع خطی افزاینده تعریف می‌شود. برای معیار فاصله از گسل، بعد از کدگذاری، اغلب زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ کمتر از ۵۰۰ متر روی داده‌اند؛ درنتیجه، هرچقدر این فاصله کمتر شود، تابع رو به سمت پایین (کد صفر) میل می‌کند؛ بنابراین، تابع خطی کاهنده برایش تعریف می‌شود.



(الف)



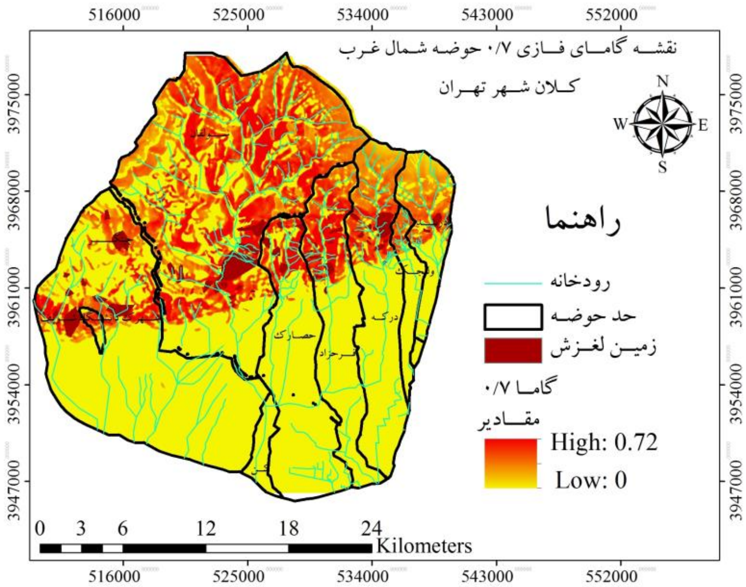
(ب)



شکل ۵- نقشه‌های فازی‌شدهٔ معیارها: الف- شیب، ب- فاصله از گسل، ج- زمین‌شناسی، د- کاربری زمین، و- فاصله از رودخانه، ز- بارندگی، ح- ارتفاع، خ- جهت دامنه، ر- فاصله از راه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

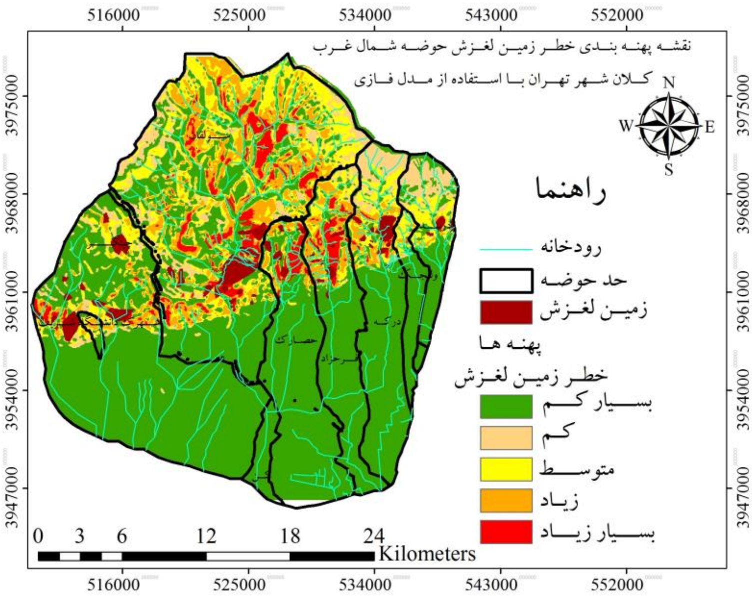
پس از آن، از عملگر گامای ۰/۷ برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استفاده شد (شکل ٦):



شکل ٦- نقشهٔ گامای فازی ۰/۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

علت انتخاب این گاما، هم‌پوشانی نقشهٔ پهنه‌بندی با چندین نقشهٔ اصلی است. به‌عبارت‌دیگر، نقشهٔ پهنه‌بندی با نقشه‌های کاربری زمین، شیب ازطریق جداول متقاطع هم‌پوشانی شدند و مشخص شد که بیشترین تطابق پهنه‌های خطر زمین‌لغزش با شیب‌های نسبتاً تند، مراتع ضعیف و زمین‌های بایر، در گامای ۰/۷ دیده شد. با توجه به شکل (۵)، بعضی از روستاها و نواحی در پهنه‌هایی قرارگرفته‌اند که ظرفیت آسیب‌پذیری زیادی ازنظر رخداد حرکات لغزشی دارند. به‌عبارت‌دیگر، نواحی ذکرشده در پهنه‌هایی قرار گرفته‌اند که گامای فازی رقم ۰/۷۲ را نشان می‌دهد؛ یعنی اینکه، هرچقدر رقم ذکرشده به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود، احتمال رخداد زمین‌لغزش در نواحی موردنظر وجود دارد؛ بنابراین، از عملگر گامای فازی ۰/۷ برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی ظرفیت آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌ها در محدودهٔ موردمطالعه استفاده شد (شکل ۷). درنهایت، مساحت و درصد مساحت هریک از پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ موردمطالعه محاسبه شد (جدول ۳):



شکل ۷- نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۳- نتایج پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

پهنه‌های با ظرفیت آسیب‌پذیری	کیلومترمربع	درصد مساحت
بسیار کم	٤٥٠	٦٧/١٦
کم	٤٠	٦
متوسط	٨٣	١٢/٣٨
زیاد	٦٦	٩/٨٥
بسیار زیاد	٣١	٤/٦٢
مجموع	٦٧٠	١٠٠

با توجه به جدول (۳)، حدود ۳۱ کیلومترمربع معادل با ٤/٦٢ درصد از مساحت محدودهٔ موردمطالعه در پهنهٔ زمین‌لغزش با خطر بسیار زیاد واقع شده است. حدود ٦٦ کیلومترمربع معادل با ۹/۸٥ درصد در پهنهٔ زمین‌لغزش با خطر زیاد قرار گرفته است. روستاهای کشار علیا، یونجه‌زار، امامزاده عقیل، سنگان بالا، امامزاده داوود و رندان، در این پهنه واقع شده‌اند. حدود ۸۳ کیلومترمربع در پهنهٔ زمین‌لغزش با خطر متوسط واقع شده است. این رقم معادل با ۱۲/۳۸ درصد برآورد شد. روستاهای واقع در این پهنه عبارت‌اند از: هریاس، وردیج، جیحون وردیج،

پس‌قلعه، جیحون‌ندر، هتل اوسون، وزباد، باغ‌درهٔ سنگان، سنگان بالا و رندان. حدود ٤٠ کیلومترمربع معادل با ٦ درصد در پهنهٔ زمین‌لغزش با خطر کم قرار گرفته است و حدود ٤٥٠ کیلومترمربع معادل با ٦٧/١٦ درصد در پهنهٔ با آسیب‌پذیری بسیار کم واقع شده است. روستاهای کشارسفلا، واریش، سنگان پایین، سنگان وسط، تالون و شهرک دانش در پهنه‌های با خطر بسیار کم و کم قرار گرفته‌اند.

۵. ۱. **بحث**

با توجه به بررسی‌های میدانی، مطالعهٔ نقشه‌های معیار و نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، عوامل زیر از دلایل زمین‌لغزش‌های محدودهٔ موردمطالعه محسوب می‌شوند:

الف- عوامل طبیعی

۱- شیب: شیب عامل مهمی در رخداد حرکات لغزشی است. درواقع، زمین‌لغزش‌ها تحت‌تأثیر این عامل به‌حرکت درمی‌آیند. بررسی نقشهٔ شیب (شکل ۲ الف) نشان می‌دهد که حدود ٤۳ درصد از حرکت‌های لغزشی، در شیب‌های بین ۳۰ تا ۵۰ درصد روی داده‌اند که علت آن می‌تواند ناشی از شیب نسبتاً تند دامنه‌ها در ارتفاعات ۱۸۰۰ متر تا ۲۰۰۰ متر باشد. همان‌طورکه نقشهٔ شیب (شکل ۲ الف) نشان می‌دهد، شیب‌های تند منطبق‌بر ارتفاعات بیشتر از ۱۸۰۰ متر و بیشتر هستند که باعث سهولت در حرکات توده‌ای از نوع زمین‌لغزش می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر، عامل شیب موجب افزایش نیروی ثقل و به‌حرکت‌درآوردن تودهٔ لغزشی می‌شود. کمترین زمین‌لغزش‌ها در شیب‌های کمتر از ۱۵ درصد به‌وقوع پیوسته‌اند؛ زیرا، شیب این دامنه‌ها نسبتاً صاف و ملایم است و نمی‌تواند تودهٔ لغزشی را به‌حرکت وادارد.

۲- فاصله از گسل‌ها: نتیجهٔ تقاطع نقشهٔ طبقات فاصله از گسل‌های منطقه و حرکات لغزشی حاکی از آن است که ٦۲/۸۸ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ کمتر از ۵۰۰ متری از گسل‌ها رخ‌داده‌اند. این نتیجه، نقش گسل‌های منطقه را در ناپایداری دامنه‌ها نشان می‌دهد. وجود گسل‌های فعال در محدودهٔ موردمطالعه نشان‌دهندهٔ فعال‌بودن این منطقه ازنظر فعالیت‌های تکتونیک است؛ بنابراین، درصورت فعال‌شدن این گسل‌ها درهنگام زلزله، احتمال رخداد زمین‌لغزش وجود دارد. کمترین زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ ۱۰۰۰ متری و ٦۰۰۰ متری از گسل‌ها رخ داده‌اند. هرچقدر تودهٔ لغزشی فاصلهٔ بیشتری از گسل‌ها داشته باشد، کمتر تحت‌تأثیر فعالیت این گسل‌ها واقع می‌شود.

۳- زمین‌شناسی: نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی نشان داد که غالب زمین‌لغزش‌های این حوضه در مناطق پوشیده از سازند کرج رخ داده‌اند که علت آن احتمالاً می‌تواند ناشی از سست‌شدن رسوبات این سازند در اثر هوازدگی باشد. با توجه به شرایط توپوگرافی محدودهٔ موردمطالعه و تخریب پوشش گیاهی آن، احتمال آن می‌رود که رسوبات این سازند درمعرض مستقیم هوا قرار گیرند و دچار هوازدگی شوند. کمترین زمین‌لغزش‌ها در سازندهای آتش‌فشانی مانند آندزیت و بازالت رخ داده‌اند؛ زیرا، این سازندها درمقابل عوامل فرسایشی و تخریب مقاوم هستند.

٤- فاصله از رودخانه‌ها: نتیجهٔ تقاطع نقشهٔ طبقات فاصله از شبکهٔ آبراهه‌ای و حرکات لغزشی حاکی از آن است که ٧٢/٤٦ درصد از زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ کمتر از ۵۰۰ متری از شبکهٔ زهکشی رخ داده‌اند. علت زمین‌لغزش‌های وقوع‌یافته یا درشرف‌وقوع می‌تواند ناشی از مرطوب‌ماندن دائمی خاک‌ها باشد. همچنین، جریان رودخانه و شعبات آن می‌تواند باعث شست‌وشوی خاک‌های پای دامنه‌ها و ناپایدارکردن آن‌ها شود. کمترین زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ ۱۰۰۰ متری و بیشتر رخ داده‌اند. هرچقدر تودهٔ لغزشی از رودخانه فاصلهٔ بیشتری داشته باشد، کمتر تحت‌تأثیر شست‌وشوی ناشی از آن قرار می‌گیرد؛ درنتیجه، خاک‌های آن خشک‌تر باقی می‌مانند. جریان رودخانه‌ها و شعبات آن با مرطوب‌نگه‌داشتن خاک موجب آبگیری آن می‌شوند و تحت‌تأثیر نیروی ثقل به‌حرکت درمی‌آیند.

۵- بارندگی: به‌دلیل اثرگذاری سایر عوامل و متغیرهای مستقل، حدود ٤٨ درصد از حرکت‌های لغزشی در نواحی با میانگین بارش سالانهٔ بیشتر از ۳۰۰ میلی‌متری رخ داده‌اند که علت آن این است که بارندگی بسیار زیاد و بیش‌ازحد باعث شست‌وشوی خاک روی دامنه‌ها، به‌ویژه دامنه‌هایی می‌شود که از پوشش گیاهی پاک شده‌اند. با توجه به اینکه پوشش گیاهی در بخش بیشتر محدودهٔ موردمطالعه ازبین رفته است و اینکه بارندگی نسبتاً زیادی در بخش کوهستانی حوضه وجود دارد، بارندگی ازطریق ایجاد گسیختگی در دامنه‌ها می‌تواند منجربه رخداد زمین‌لغزش در محدودهٔ موردمطالعه شود. کمترین زمین‌لغزش‌ها در بارندگی تقریباً با میزان کمتر از ۳۰۰ روی داده‌اند؛ بنابراین، خاک، کمتر تحت‌تأثیر شست‌وشوی ناشی از بارندگی قرار می‌گیرد و درنتیجه خشک باقی می‌ماند.

٦- ارتفاع: بخش عمده‌ای از حرکت‌های لغزشی؛ یعنی، حدود ۳۸/ ٤٤ درصد در طیف ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متری و حدود ٤٤/٦٥ درصد از این نوع حرکات در طیف ارتفاعی ۱٦۰۰ تا ۲۰۰۰ متری رخ داده‌اند. افزایش بارندگی با افزایش ارتفاع می‌تواند عاملی برای رخداد زمین‌لغزش‌های این پهنه‌ها باشد؛ زیرا، بارندگی بسیار زیاد و بیش‌ازحد باعث شست‌وشوی دامنه‌ها و گسیختگی آن‌ها می‌شود. علاوه‌براین، ضربات ناشی از قطره‌های باران به‌ویژه در نقاطی که پوشش گیاهی تخریب یافته است، می‌تواند ذرات خاکدانه‌ها را تخریب کند و بدین‌گونه با سست‌کردن این خاک‌ها آن‌ها را مستعد وقوع حرکات لغزشی کند. همچنین، در نواحی مرتفع و کوهستانی، هوازدگی سنگ‌ها و خاک‌ها به‌سهولت انجام می‌شود که این خود باعث سست‌شدن خاک‌های این نواحی می‌شود.

۷- جهت دامنه: انقطاع نقشهٔ حرکت‌های لغزشی و نقشهٔ طبقه‌بندی جهت شیب دامنه‌ها در حوضه‌های کوهستانی نشان می‌دهد که همبستگی معناداری بین جهت دامنه‌ها و وقوع حرکات لغزشی وجود دارد؛ براین‌اساس، اغلب زمین‌لغزش‌ها در جهات جنوبی شیب دامنه‌ها (جنوب، جنوب غربی و جنوب شرق) رخ داده‌اند. احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها در این جهات دامنه‌ای می‌تواند ناشی از این قضیه باشد که این دامنه‌ها در نیمکرهٔ شمالی آفتاب‌گیر هستند. با توجه به ماهیت کوهستانی منطقه و رقیق‌بودن هوا در ارتفاعات بالا، به‌ویژه در اواخر زمستان و اوایل بهار، تابش خورشید باعث ذوب برف‌های این نواحی شود که این باعث مرطوب‌شدن خاک‌های این بخش از جهات دامنه‌ها می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، آب به‌تدریج در زمین نفوذ می‌کند، موجب آب‌گیری آن می‌شود و تحت‌تأثیر نیروی ثقل، روی دامنه به حرکت درمی‌آید. همچنین، در این جهات دامنه‌ای با انبساط خاک‌ها هنگام روز و انقباض آن‌ها هنگام شب، زمینهٔ ناپایداری و سست‌شدن این خاک‌ها فراهم می‌شود که این خود می‌تواند عامل دیگری برای رخداد زمین‌لغزش در این جهات دامنه محسوب شود.

ب- عوامل انسانی

۸- کاربری زمین: عوامل انسانی، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مخاطرات محیطی ازجمله افزایش پدیدهٔ لغزش در دامنه‌ها هستند. مطالعات میدانی در رابطه با پوشش زمین نشان داد که حرکت‌های لغزشی این حوزه‌ها بیشتر در نواحی مرتعی رخ داده‌اند که این مقدار حدود ۹٦/۸ درصد است. بررسی نقشهٔ کاربری زمین و مطالعات میدانی درزمینهٔ

پوشش/کاربری زمین نشان داد که حرکات لغزشی در محدودهٔ موردمطالعه، در مراتع با پوشش گیاهی متوسط و فقیر رخ داده‌اند و همان‌طورکه قبلاً بیان شد، تخریب پوشش گیاهی و فقدان آن نه‌تنها باعث سهولت در شست‌وشوی دامنه‌ها هنگام بارندگی می‌شود، بلکه چون خاک دامنه‌ها درمعرض مستقیم هوا قرار می‌گیرند، به‌سهولت دچار هوازدگی می‌شوند که این باعث ناپایدارشدن خاک‌های محدودهٔ موردمطالعه می‌شود. مشاهدات میدانی که درزمینهٔ حوضه انجام شد، نشان‌دهندهٔ سست‌بودن خاک‌های منطقه و درنتیجه، تخریب پوشش گیاهی بومی منطقه بود؛ بنابراین، نقش پوشش گیاهی در حفظ و پایدارسازی دامنه‌ها احساس می‌شود.

۹- فاصله از راه: با توجه به تأثیری که خاک‌برداری و ساخت راه‌های اصلی بر مورفولوژی دامنه‌ها داشته و باعث ناپایداری آن‌ها شده است و نیز مقاومت آن‌ها را درمقابل جریان‌های دامنه‌ای کاهش داده است، اقدام به تهیهٔ این لایهٔ اطلاعاتی شد. این لایهٔ اطلاعاتی با استفاده از نقشهٔ راه‌های ایران، نقشهٔ زمین‌شناسی و تصویر ماهواره‌ای از محدودهٔ موردمطالعه تهیه شد. با توجه به شکل (۲ ر) بیشترین تراکم زمین‌لغزش‌ها در فاصلهٔ ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ متری از راه‌ها رخ داده است؛ بنابراین، تأثیر راه و جاده‌سازی بر لغزش‌ها تاحد قابل‌توجهی مشخص می‌شود.

با توجه به نقشهٔ پهنه‌بندی، پهنه‌های خطر زمین‌لغزش تاحدی از الگوهای شیب، فاصله از آبراهه‌ها و ارتفاع تبعیت کرده‌اند که به‌ترتیب منطبق بر شیب‌های ۳۰ درصد تا ۵۰ درصد، فاصله‌های کمتر از ۲۰۰ متر از آبراهه‌ها و ارتفاعات ۱٦۰۰ متر تا ۳۰۰۰ متر هستند. این مطلب نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که مورفولوژی پهنه‌های لغزشی تابع عوامل توپوگرافی و هیدرولوژی است. به‌عبارت‌دیگر، مورفولوژی زمین‌لغزش‌ها از مورفولوژی عوامل توپوگرافی و هیدرولوژی تبعیت می‌کند و دلیل زمین‌لغزش‌های رخ‌داده عوامل طبیعی هستند؛ هرچند عوامل انسانی مانند تخریب پوشش گیاهی و تغییر کاربری زمین در این امر دخیل هستند.

همان‌طورکه نقشهٔ پهنه‌بندی (شکل ۷) نشان می‌دهد، بخش‌هایی از دامنه‌های شمال غرب کلان‌شهر تهران مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای از نوع زمین‌لغزش هستند. با توجه به اینکه سکونتگاه‌های روستایی در این پهنه‌ها استقرار یافته‌اند و جمعیت قابل‌توجهی اوقات‌فراغت خود را در این مناطق می‌گذرانند، درصورت رخداد زمین‌لغزش، علاوه‌بر خسارات جانی و مالی، تخریب بیش‌ازحد پوشش گیاهی، محیط‌زیست و آلودگی آب‌های سطحی و فرسایش خاک به‌وجود می‌آید؛ بنابراین، برای جلوگیری از این خسارات توصیه می‌شود که

ژئومورفولوژیست‌ها، برنامه‌ریزان شهری و مهندسان منابع طبیعی راهکارهایی را بـرای کـاهش آسـیب‌پذیری خطـر زمین‌لغـزش ارائـه دهنـد؛ ازایـن‌رو، همان‌طورکـه قبلـاً گفتـه شـد، لـزوم پایدارسازی دامنه‌ها در این پهنه‌ها ضروری است؛ زیرا، درصورت رخـداد مجـدد زمین‌لغـزش، این مسئله نه‌تنها آغازگر مسائل و مشکلات بعدی در بخش کوهستانی حوضه مـی‌شـود، بلکـه مشکلات محیط‌زیستی برای بخش پایین‌دست حوضه به‌وجود می‌آورد.

دامنه‌های شمال غرب، در بالادست کلان‌شهر تهران قرارگرفتـه‌انـد. نقشـهٔ پهنه‌بنـدی خطـر زمین‌لغزش از محدودهٔ موردمطالعه (شکل ۷)، با نقشهٔ زمین‌لغزش‌های رخ‌داده که توسط گروه فرسایش توده‌ای و تثبیت زمین‌لغزش (۱۳۸٦) از استان تهران تهیه شد، مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل فازی به‌کارگرفته‌شده در پژوهش حاضر، انطباق زیادی با نقشهٔ یادشده دارد؛ یعنی، مناطق در پهنه‌های باخطر نسبتاً زیـاد و زیـاد ازلحـاظ زمین‌لغـزش، در نـواحی کـوه‌پایـه‌ای و کوهستانی واقع شده‌اند. خطاهای احتمالی که در این نقشه‌ها با استفاده از این مـدل بـه‌وجـود می‌آید، مربوط به روش‌های مختلف فازی‌سازی لایه‌ها و نوع عملگر گامـای فـازی به‌کاررفتـه است. از مزایای مدل فازی، هنگامی‌که با سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب شود، سرعت بالـا در پردازش داده‌ها، کم‌هزینه‌بودن این روش و دقت نسبتاً بالای این مدل است. به‌دلیـل ترکیـب انعطاف‌پذیر نقشه‌های ورودی با عملگرهای جی‌آی‌اس می‌توان حالات مختلف زمین‌لغزش‌هـا را ارزیابی کرد. نمونه کارهای انجام‌شده درزمینهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از این مـدل و تلفیق لایه‌های نقشه‌ای گویای این موضوع است؛ البته، دقت بالا در محاسـبهٔ نـواحی مسـتعد وقوع زمین‌لغزش‌ها بستگی به کیفیـت دانـش مـا براسـاس روابـط زمین‌لغـزش- چشـم‌انداز[1]، تعریف صحیح توابع و همچنین، توانایی نرم‌افزار جی‌آی‌اس در توصیف شرایط محیطی دارد.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحلیل داده‌های لغزشی در محدوده‌های دامنه‌ای شمال غرب کلان‌شهر تهران نشـان داد کـه برخی از بخش‌های این محدوده که شامل مناطق روستایی است، مستعد وقوع حرکات لغزشی هستند؛ به‌طوری‌که در حدود ۱٤/٤۷درصد از مساحت محـدودهٔ موردمطالعـه، در پهنـه‌های بـا خطر بسیار زیاد و زیاد قرارگرفته است. حدود ۱۲/۳۸ درصد در پهنـهٔ بـا خطـر متوسـط و در

1. Landslide- Landscape

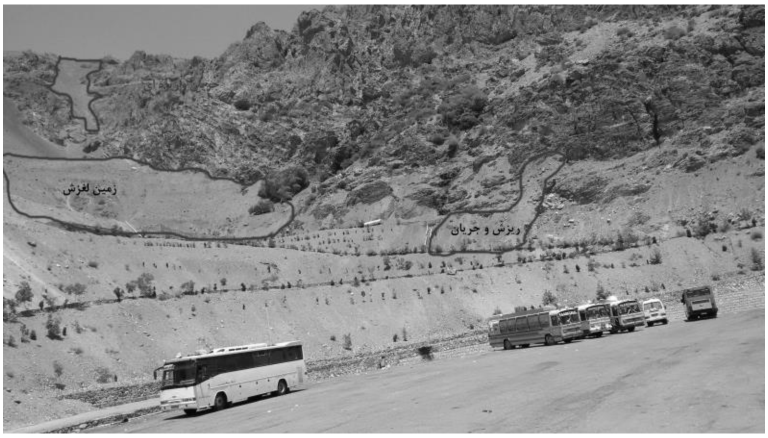
حدود ۷۳/۱۶ درصد از مساحت محدودهٔ موردمطالعه در پهنه‌های با خطر کم و بسیار کم واقع شده است. بعضی از روستاها در پهنه‌های با آسیب‌پذیری متوسط تا بسیار زیاد واقع شده‌اند. این روستاها شامل کشار علیا، یونجه‌زار، امامزاده عقیل، سنگان بالا، امامزاده داوود و رندان هستند (شکل ۸). نتایج تحلیلی نشان داد که به‌دلیل شرایط توپوگرافیک، فعالیت‌های زمین‌ساختی و زمین‌شناسی، بارش‌های سیل‌آسا و فقدان رعایت فاصله از حریم شبکه‌های زه‌کشی ازجمله روددره‌ها و کاربری‌های نامناسب به‌ویژه برج‌سازی درشیب‌های تند، خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها بسیار زیاد است.



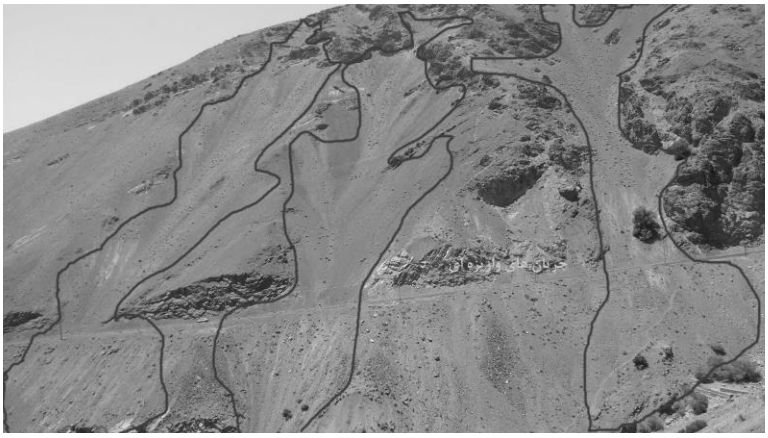
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۸- نمونه‌ای از زمین‌لغزش‌ها و حرکات دامنه‌ای رخ‌داده‌شده: الف- تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث[1] از لغزش روستای سولقان که در داخل یک پهنهٔ لغزشی قدیمی قرار گرفته است (تصویر ۲۰۱۴ گوگل ارث)؛ ب- فرسایش‌پذیری مصالح توفی و شیلی در نزدیکی امامزاده داوود (دید به‌سمت شمال غرب؛ ج- انواع حرکات دامنه‌ای (دامنهٔ غربی که حرکات به‌سمت شرق است، در فاصله یک کیلومتری جنوب شرق امامزاده داوود)؛ د- جریان‌های واریزه‌ای (دامنهٔ غربی که حرکات به‌سمت شرق است، بین امامزاده داوود و سولقان)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نقشهٔ حاصل از این تجزیه‌وتحلیل می‌تواند به‌عنوان ابزار کارآمد برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای استفاده شود. نقشه‌های پهنه‌بندی پیش‌بینی ظرفیت خطر وقوع حرکت‌های لغزشی و نیز

1. Google Earth

قابلیت استفاده در بسیاری از سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای دارند؛ زیرا، در این نقشه‌ها، با شناخت نواحی مستعد انواع حرکت‌های لغزشی می‌توان از خسارات و مخاطراتی که کاربری‌های مختلف شهری را (مسکونی، تجاری و صنعتی) تهدید می‌کنند، جلوگیری کند. آمار ناشی از خسارت زمین‌لغزش‌ها در مناطقی که ارتفاعات از توزیع گسترده‌ای برخوردار می‌باشند، می‌تواند هشداری جدی به سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و کارگزاران باشد که بدین‌منظور پیشنهادهای زیر ارائه می‌شوند:

۱- دقت و صحت مرزها در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دقت نقشه‌های پایه بستگی دارد؛ بنابراین، استفاده از داده‌های که دقت بالایی دارند، توصیه می‌شود؛

۲- بیشتر سیستم‌های ژئومورفولوژیک که در آن‌ها فرایندهای مخاطره‌آمیز مانند زمین‌لغزش‌ها روی می‌دهد، سیستم‌هایی پیچیده و غیرخطی هستند و پارامترها و شاخص‌های مربوط به زمین‌لغزش‌ها فازی هستند و همچنین، قطعیتی در مرزهای این پهنه‌ها وجود ندارد؛ بنابراین، استفاده از مدل‌ها و فن‌های جدیدی که پهنه‌ها را به‌صورت نسبی و تدریجی نشان دهند (مانند مدل فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش رگرسیون چندمتغیره و روش شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم[1])، به‌جای استفاده از مدل‌های ریاضی کلاسیک توصیه می‌شود؛

۳- دقت بالا در محاسبهٔ نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش‌ها بستگی به کیفیت دانش ما از روابط زمین‌لغزش- چشم‌انداز و نیز توانایی نرم‌افزار آرک جی.آی.اس.[2] دارد؛ بنابراین، مشاهدات میدانی، بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در بالاتربردن کیفیت این روش نقش بسزایی دارند؛

٤- درزمینهٔ ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش، علاوه‌بر پهنه‌بندی، انجام روش‌های محاسبات اولیهٔ ریسک مانند توابع احتمال خطر آسیب‌پذیری، درمعرض قرارگرفتن و تابع (ارزش عناصر قرارگرفته در ریسک) توصیه می‌شود.

1. Wireless Sensor Networks
2. Arc GIS

کتابنامه

۱. انتظاری، م.، غلام‌حیدری، ح.، و آقایی‌پور، ی. (۱۳۹٤). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزه با استفاده از مدل آنتروپی (حوزهٔ موردمطالعه: آبریز زرآب). *فصلنامهٔ علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۵۰(۱۵)، ۱۰۷ – ۱۲۳.

۲. بنت، م.، و دوئل، آر. (۱۳۹۱). *زمین‌شناسی زیست‌محیطی* (ا. هرمزی، مترجم). تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

۳. جلالی، ع. (۱۳۹۲). *شناخت عوامل ژئومورفولوژیکی بحران‌زای شمال غرب تهران از درهٔ فرحزاد تا* چیتگر. (پایان‌نامهٔ منتشرشدهٔ کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، ایران.

٤. خبرگزاری جمهوری اسلامی. (۱۳۹۱). *لبد کوهرنگ؛ روستایی که ناپدید شد*. بازیابی از http://www.irna.ir/fa/News/120315

۵. رهنماراد، ج.، یادگارزایی، م.، و کنگی، ع. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ اسکل‌آباد خاش با استفاده از روش آماری دومتغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *فصلنامهٔ زمین‌شناسی کاربردی*، ٤(٦) ، ۲۵۷– ۲۷۷.

٦. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. (۱۳۹۱). *مدل رقومی ارتفاع استان تهران*. تهران.

۷. سازمان جنگل‌ها و مراتع. (۱۳۹۱). *نقشهٔ رقومی‌شدهٔ کاربری زمین استان تهران*. تهران.

۸. سازمان زمین‌شناسی تهران. (۱۳۹۱). *نقشهٔ رقومی‌شدهٔ زمین‌شناسی استان تهران*. تهران.

۹. سازمان هواشناسی کشور. (۱۳۸۹). *آمار ایستگاه‌های اقلیمی استان تهران*. تهران.

۱۰. شریفی، ر. (۱۳۸۳). *تحلیلی بر مقایسهٔ دو روش نیل‌سون و اصلاح‌شدهٔ آن در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز حسن‌آباد کال‌پوش شاهرود)*. دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، تهران.

۱۱. شماعی، ع.، و پوراحمد، احمد. (۱۳۹۱). *بهسازی و نوسازی شهری از دیدگاه علم جغرافی* (چاپ پنجم). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۱۲. صالحی‌پور، ع. (۱۳۸۰). *بررسی پارامترهای هیدروموروفیک مؤثر در حرکات دامنه‌ای حوضهٔ آبریز قوری‌چای با استفاده از GIS*. (پایان‌نامهٔ منتشرنشدهٔ کارشناسی‌ارشد رشتهٔ ژئومورفولوژی)، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۱۳. صفاری، ا.، و مقیمی، ا. (۱۳۸۸). ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعهٔ شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران. *فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، *٦٧*(٤١)، ٥٣-٧١.

۱٤. عابدینی، م.، و فتحی، م. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز خلخال‌چای با استفاده از مدل‌های چندمعیاره. *مجلهٔ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، *٤*(۲)، ۷۱-۸۵.

۱٥. فتاحی اردکانی، م.، غیومیان، ج.، و جلالی، ن. (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز سد لتیان. *مجلهٔ زمین‌شناسی مهندسی*، *۱*(۱)، ۲٥-٤۲.

۱٦. فرهودی، ر.، حبیبی، ک.، و زندی بختیاری، پ. (۱۳۸٤). مکان‌یابی محل دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از منطق فازی (Fuzzy Logic) در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: شهر سنندج). *نشریهٔ هنرهای زیبا*، *۲۳*(٦) ، ۱٥- ۲٤.

۱۷. قنواتی، ع. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضهٔ جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی. *نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، *۲۰*(۱۷)، ٥۱- ٦۸.

۱۸. کامران‌زاد، ف.، محصل افشار، ع.، مجرب، م.، و معماریان، ح. (۱۳۹٤).پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده‌محور و تحلیل سلسله‌مراتبی. *مجلهٔ علوم زمین*، *۹۷*(۲٥)، ۱۰۱ – ۱۱٤.

۱۹. کرم، ع. (۱۳۸۰). *مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ سرخون در استان چهارمحال‌وبختیاری)*. (رسالهٔ دکتری منتشرنشدهٔ ژئومورفولوژی)، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.

۲۰. کرمی، ف.، و بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸٥). *شناسایی و پهنه‌بندی نواحی مستعد زمین‌لغزش در حوضهٔ آبریز اوجان‌چای (با استفاده از روش‌های آماری و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی)*. دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران، تهران.

۲۱. گزارش گروه فرسایش و تثبیت حرکات توده‌ای. (۱۳۸٦). *کنترل فرسایش و تثبیت لغزش*. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، معاونت آبخیزداری، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها، گروه پایدارسازی حرکات توده‌ای.

۲۲. متکان، ع.، سمیعا، ج.، پورعلی، س.، و صفایی، م. (۱۳۸۸). مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز لاجیم. *فصلنامهٔ زمین‌شناسی کاربردی*، *٤*(٥) ، ۳۱۸- ۳۲٥.

۲۳. مددی، ع.، نوعی، ب.، و اسمعلی، ا. (۱۳۹۲). ارزیابی خطر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل LIM و به‌کارگیری تکنیک GIS در حوزهٔ آبخیز گیوی‌چای، اردبیل. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، ٤۳(۱۷)، ۳۰۷- ۳۲٦.

۲٤. نصیری، ش. (۱۳۸۳). نگرشی بر زمین‌لغزش‌های ایران (بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جادهٔ هراز). پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور. بازیابی از (۳/٤/۲۰۱۵ www.rgdir.ir /pdefault.asp verified)

۲٥. هادی‌مصلح، م.، و خان‌لری، غ. (۱۳۸٦). *بررسی رخداد سنگ لغزش در جادهٔ فشم- میگون به روش تحلیل برگشت*. پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران.

26. Cao, C., Wang, Q., Jianping, C., Yunkai, R., Lianjing, Z., Shengyuan, S., & Cencen, N. (2016). Landslide susceptibility mapping in vertical distribution law of precipitation area: Case of the Xulong Hydropower Station Reservoir, Southwestern China. *Journal of Water*, *8* (7), 1- 21.
27. Chenkual, L., Lalbiakmawia, F., & Laltanpuia, Z. D. (2016). Landslide Hazard Zonation (LHZ) of Saiha District, Mizoram, India using remote sensing and GIS. *Journal of IJESC, 7* (6), 8724 – 8228.
28. Chingkhei, R. K., Shiroyleima, A., Robert Singh, L., & Kumar, A. (2013). Landslide Hazard Zonation in NH-1A in Kashmir Himalaya, India. *International Journal of Geosciences, 10* (4), 1501 – 1508.
29. Gemitzi, A., Falalakis, G., Eskioglou, P., & Petalas, C. (2011). Evaluating landslide susceptibility using environmental factors: Fuzzy membership functions and GIS. *Journal of Global NEST, 1* (13), 28- 40.
30. Gorsevski, P. V., Jankowski, P., & Gessler, E. (2005). Spatial prediction of landslide Hazard using fuzzy k-means and Dempster-Shafer theory. *Journal of Transactions in GIS, 9* (4), 455- 474.
31. Lee, S. (2007). Application and verification of fuzzy logic to landslide susceptibility mapping, *Journal of Environmental Geology, 52* (4), 615- 623.
32. Lotfi Zadeh, A. (1965). Fuzzy sets. *Journal of Information and Control, 8 (1)*, 338-353.
33. Roslee, R., Tajul, J., & Anuar, M. (2012). Landslide susceptibility mapping (LSM) at Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia using Factor Analysis Model (FAM). *Journal of Advanced Science and Engineering Research, 2* (2012), 80-103.
34. Shahabi, H. (2010). *Landslide Hazard investigation in Saqqez Marivan main road in Kurdistan province*. The First International Applied Geological Congress. Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran.
35. Sharifi, R., Uromeihy, A., & Ghorashi, M. (2011). Fuzzy logic model in landslide hazard zonation based on expert judgment. *International Journal of Fundamental Physical Sciences, 4* (1), 95-98.
36. Sharma, G., & Sanjeevi, S. (2015). Landslide Hazard Zonation using remote sensing, ground penetrating radar surveys and geographical information

system in Katteri Watershed, Nilgiri, Tamil Nadu, India. *International Journal of Current Engineering and Technology*, *2* (5), 1160 – 1169.